

Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) EP 1 278 250 A2

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
22.01.2003 Patentblatt 2003/04

(51) Int Cl.7: H01L 33/00, H01L 25/13

(21) Anmeldenummer: 02010870.0

(22) Anmeldetag: 15.05.2002

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE TR  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder:  
• Ellens, Andries, Dr.  
2561 SL Den Haag (NL)  
• Huber, Günter  
86529 Schrobenhausen (DE)  
• Kummer, Franz, Dr.  
80797 München (DE)

(30) Priorität: 16.07.2001 DE 10133352

(71) Anmelder: Patent-Treuhand-Gesellschaft für  
elektrische Glühlampen mbH  
81543 München (DE)

(54) Beleuchtungseinheit mit mindestens einer LED als Lichtquelle

(57) Beleuchtungseinheit mit mindestens einer LED als Lichtquelle, wobei die LED primäre Strahlung im Bereich 300 bis 485 nm emittiert, wobei diese Strahlung teilweise oder vollständig in längerwellige Strahlung konvertiert wird durch Leuchtstoffe, die der primären Strahlung der LED ausgesetzt sind, wobei die Konver-

sion zumindest unter Zuhilfenahme eines Leuchtstoffs, der gelb-orange mit einer Wellenlänge der Peakemission bei 540 bis 620 nm emittiert und der aus der Klasse der Euaktivierten Sialone stammt, wobei das Sialon der Formel  $M_{p/2}Si_{12-p-q}Al_{p+q}O_qN_{16-q}:Eu^{2+}$  gehorcht, mit M= Ca einzeln oder in Kombination mit Mg oder Sr, mit q = 0 bis 2,5 und p = 0 bis 3.

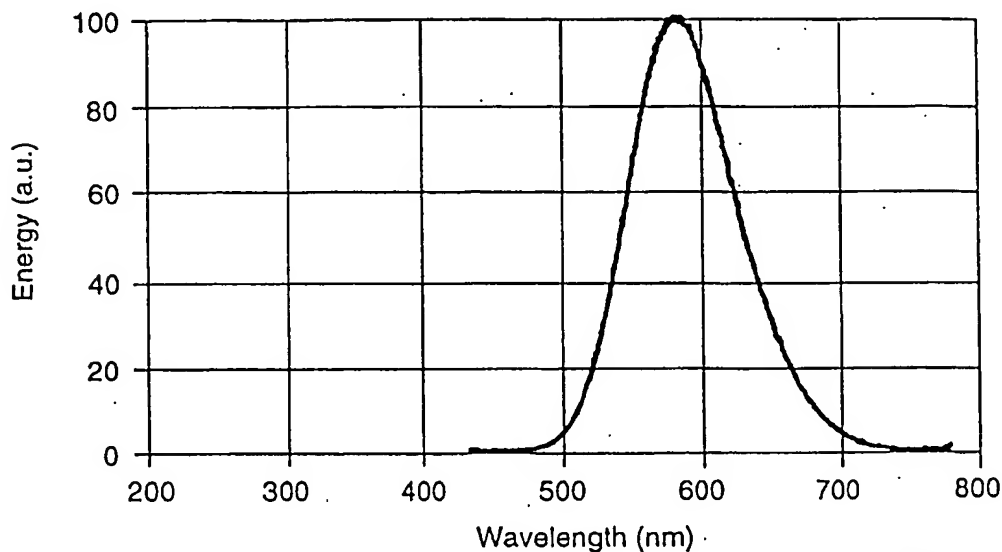


FIG. 3a

EP 1 278 250 A2

BEST AVAILABLE COPY

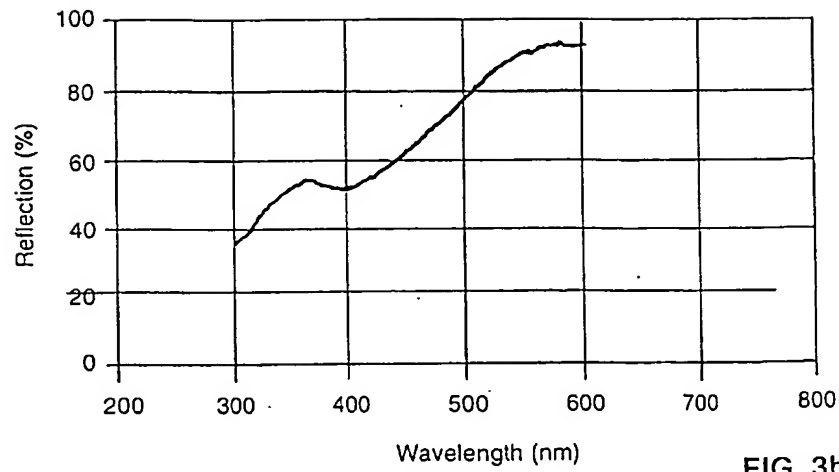


FIG. 3b

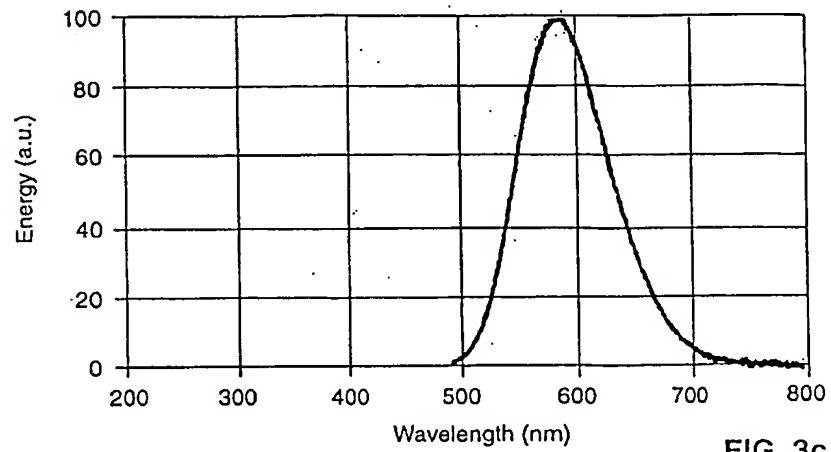


FIG. 3c

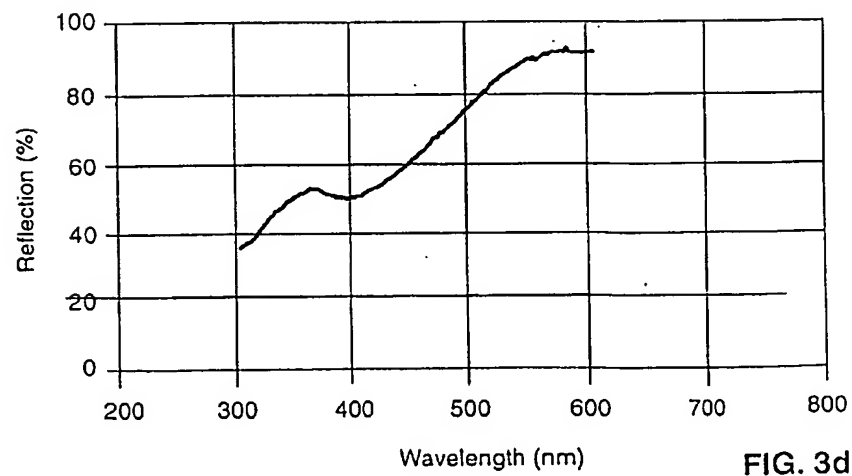


FIG. 3d

**Beschreibung****Technisches Gebiet**

- 5 [0001] Die Erfindung geht aus von einer Beleuchtungseinheit mit mindestens einer LED als Lichtquelle gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Es handelt sich dabei insbesondere um eine im Sichtbaren oder Weiß emittierende LED auf Basis einer primär UV/blau emittierenden LED.

**Stand der Technik**

- 10 [0002] Eine Beleuchtungseinheit mit mindestens einer LED als Lichtquelle, die beispielsweise weißes Licht abgibt, wird derzeit vorwiegend durch die Kombination einer im Blauen bei etwa 460 nm emittierenden Ga(In)N-LED und eines gelb emittierenden YAG:Ce<sup>3+</sup>-Leuchtstoffs realisiert (US 5 998 925 und EP 862 794). Dabei werden für eine gute Farbwiedergabe oft zwei verschiedene Gelb-Leuchtstoffe verwendet wie in WO-A 01/08453 beschrieben. Problematisch dabei ist, dass die beiden Leuchtstoffe oft unterschiedliches Temperaturverhalten zeigen, auch wenn ihre Struktur ähnlich ist. Ein bekanntes Beispiel ist der im Gelben lumineszierende Ce-dotierte Y-Granat (YAG:Ce) und der im Vergleich dazu längerwellig lumineszierende (Y,Gd)-Granat. Dies führt zu Farbortschwankungen und Änderungen der Farbwiedergabe bei unterschiedlichen Betriebstemperaturen.
- 15 [0003] Aus der Veröffentlichung "On new rare-earth doped M-Si-Al-O-N materials" von van Krevel, TU Eindhoven 2000, ISBN 90-386-2711-4, Kapitel 11, ist eine Klasse von Leuchtstoffmaterialien bekannt, die in Abkürzung ihrer Struktur als Sialone ( $\alpha$ -Sialone) bezeichnet werden. Mittels Dotierung mit Eu wird eine Emission im Bereich von 560 bis 590 nm erzielt bei Anregung mit 365 nm oder 254 nm.
- 20

**Darstellung der Erfindung**

- 25 [0004] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Beleuchtungseinheit mit mindestens einer LED als Lichtquelle gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bereitzustellen, die sich durch hohe Konstanz bei wechselnden Betriebstemperaturen auszeichnet. Eine weitere Aufgabe ist, eine Beleuchtungseinheit bereitzustellen, die weiß emittiert und insbesondere eine hohe Farbwiedergabe und hohe Ausbeute besitzt.
- 30 [0005] Diese Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Besonders vorteilhafte Ausgestaltungen finden sich in den abhängigen Ansprüchen.
- [0006] Erfindungsgemäß wird als Leuchtstoff für die LED-basierte Beleuchtungseinheit ein Sialon verwendet, das gelb-orange emittiert und aus der Klasse der Eu-aktivierten Sialone stammt, wobei das Sialon der Formel  $M_{p/2}Si_{12-p-q}Al_{p+q}O_qN_{16-q}:Eu^{2+}$  gehorcht, mit M = Ca einzeln oder in Kombination mit Sr und Mg, mit q = 0 bis 2,5 und p = 0,5 bis 3. Bevorzugt wird ein hoher Wert für p gewählt, nämlich p = 2 bis 3, und ein relativ niedriger Wert für q, nämlich q = 0 bis 1. Statt reinem Al kann insbesondere eine Mischung Al, Ga mit bis zu 20 mol-% Anteil des Ga verwendet werden.
- 35 [0007] Der Eu-Anteil, der einen Teil des Kations M ersetzt, sollte bei 0,5 bis 15 %, bevorzugt 1 bis 10 %, des M-Kations liegen, wodurch eine besonders genaue Wahl der Emissionswellenlänge getroffen werden kann und auch die Lichtausbeute optimiert werden kann. Ein steigender Eu-Gehalt bewirkt im allgemeinen eine Verschiebung der Peakemission zu längeren Wellenlängen hin. Überraschend hat sich herausgestellt, dass auch eine wechselnde Konzentration des Kations M die Wellenlänge der Peakemission verschiebt. Bei niedriger Konzentration des M-Kations kann man eine gute Absorption durch das Eu-Ion dadurch erhalten, dass man den Anteil des Eulons über 10 % des M-Kations wählt.
- 40 [0008] Besondere Vorteile dieses Leuchtstoffs in Verbindung mit einer LED-basierten Beleuchtungseinheit sind seine hohe Effizienz, seine überragende Temperaturstabilität (keine Empfindlichkeit gegen Änderungen der Betriebstemperatur) und eine überraschend hohe Löschtemperatur der Lumineszenz sowie die damit erzielbare hohe Farbwiedergabe, insbesondere bei Kombination mit mindestens einem weiteren Leuchtstoff. Die Löschtemperatur, also die Temperatur, bei der die Lumineszenz aufgrund der zugeführten Wärme zerstört wird, ist sogar so hoch, dass sie außerhalb des vorgewählten Messbereichs (maximal 140 °C) lag.
- 45 [0009] Ein weiterer Vorteil dieser Leuchtstoffklasse ist, dass bereits das Ausgangsmaterial (insbesondere  $Si_3N_4$ ) in feinstdisperser Form vorliegt. Damit ist ein Mahlen des Leuchtstoffs nicht notwendig. Dagegen müssen konventionelle Leuchtstoffe wie YAG:Ce gemahlen werden, damit sie im Gießharz dispergiert bleiben und nicht auf den Boden absinken. Dieser Mahlvorgang führt häufig zu Effizienzverlusten. Der erfindungsgemäße Leuchtstoff hat trotz feiner Korngröße des Ausgangsmaterials eine überraschend hohe Absorption. Dieser Leuchtstoff muss daher nicht mehr gemahlen werden, wodurch ein Arbeitsgang gespart wird und keine Effizienzverluste auftreten. Typische mittlere Korngrößen des Leuchtstoffs liegen bei 0,5 bis 5  $\mu m$ .
- 50 [0010] Neben der Erzeugung einer farbigen Lichtquelle durch Anregung mittels UV-Strahlung oder blauer Primäremission einer LED bietet vor allem die Erzeugung von weißem Licht mit Hilfe dieses Leuchtstoffs Vorteile. Dies ge-
- 55

schiebt entweder bei einer UV-emittierenden LED als primäre Lichtquelle unter Verwendung mindestens zweier, bevorzugt dreier Leuchtstoffe. Eine Alternative ist die Verwendung einer blau emittierenden LED sowie eines oder zweier Leuchtstoffe. Hervorragende Ergebnisse werden mit einer Mischung von thermisch stabilem Granatleuchtstoff, bevorzugt YAG:Ce, und einem Eu-dotiertem Sialon erzielt.

5 [0011] Weißes Licht mit guter Farbwiedergabe wird auch erzeugt durch die Kombination einer blauen LED (z.B. Primäremission bei 450 bis 485 nm), eines Grünleuchtstoffs (Emission zwischen 490-525 nm) und eines Gelb-Orange (GO) emittierenden Leuchtstoffs (Emission: 540- 620 nm).

[0012] Als GO-Leuchtstoff wird  $M_{p/2}Si_{12-p-q}Al_{p+q}O_qN_{16-q}:Eu^{2+}$  verwendet. Dabei ist M = Ca einzeln oder in Kombination mit Sr und/oder Mg. Dieser GO-Leuchtstoff hat eine hervorragende Thermostabilität und zeigt ein ausgezeichnetes Lumineszenzverhalten bei höheren Temperaturen, wie sie für LEDs typisch sind: bis 80°C zeigt er im Rahmen der Messgenauigkeit keinen Rückgang der Lumineszenz. Im Vergleich dazu weisen die herkömmlichen Gelbleuchtstoffe bei 80°C einen deutlich messbaren Rückgang der Lumineszenz auf: er beträgt 5 % für YAG und 10-20 % für (Y, Gd)AG.

15 [0013] Gute Farbwiedergaben über Ra=75 erzielen insbesondere, bei Verwendung einer blauen LED als primäre Lichtquelle, Mischungen eines Eu-dotierten Sialons mit einem Chlorosilikat (Eu-dotiert oder Eu,Mn-dotiert), oder mit  $SrAl_2O_4:Eu^{2+}$ . Im Vergleich zu einer Mischung aus YAG und (Y,Gd)AG ist die Farbwiedergabe fast gleich hoch; die Effizienz sogar etwas höher und das thermisches Löschverhalten deutlich besser. Die Farbwiedergabe im Roten kann nach Bedarf noch verbessert werden durch Zugabe eines Rotleuchtstoffs, z.B.  $Sr_2Si_5N_8:Eu^{2+}$  oder  $SrS:Eu^{2+}$ .

20 [0014] Eine Weißmischung kann auch erzeugt werden auf Basis einer UV-emittierenden LED mittels dieses Eu-dotierten Sialons zusammen mit einem Blauleuchtstoff, wie z.B.  $BaMgAl_{10}O_{17}:Eu^{2+}$  (BAM) oder  $(Ca,Sr,Ba)_5(PO_4)_3Cl:Eu^{2+}$  (SCAP). Die Farbwiedergabe kann nach Bedarf noch verbessert werden durch Zugabe eines Grünleuchtstoffs (beispielsweise Eu-dotierte Thiogallate oder Sr-Aluminat) und eines Rotleuchtstoffs (beispielsweise Eu-dotiertes Sr-Nitrid oder Sr-Sulfid). Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz des Eu-dotierten Sialons als einziger Leuchtstoff bei Anregung durch eine blau emittierende LED (Peakemission bei etwa 470 bis 485 nm).

25 [0015] Abhängig von  $Eu^{2+}$ -Gehalt ist die Körperfärbung dieses Materials leichtgelb bis tief gelb/gelb-orange. Wegen der hervorragenden Temperaturstabilität und auch mechanischen Stabilität ist diese Eu-Sialon gut geeignet als umweltfreundliches gelbes oder gelb-oranges Pigment. Dies gilt insbesondere dann, wenn M durch mehr als 10 % Eu ersetzt ist.

### 30 Figuren

[0016] Im folgenden soll die Erfindung anhand mehrerer Ausführungsbeispiele näher erläutert werden. Es zeigen:

- Figur 1 ein Halbleiterbauelement, das als Lichtquelle (LED) für weißes Licht dient;  
 35 Figur 2 eine Beleuchtungseinheit mit Leuchtstoffen gemäß der vorliegenden Erfindung;  
 Figur 3 bis 5 das Emissionsspektrum und Reflexionsspektrum von verschiedenen Sialon-Leuchtstoffen gemäß der vorliegenden Erfindung;  
 Figur 6 a) das Temperaturverhalten von Sialon HU13/01 absolut sowie b) das Temperaturverhalten von Granat-Leuchtstoffen und Sialon-Leuchtstoff im Vergleich;  
 40 Figur 7 das Emissionsspektrum einer LED mit den Leuchtstoffen YAG und Sialon gemäß der vorliegenden Erfindung.

### Beschreibung der Zeichnungen

45 [0017] Für den Einsatz in einer weißen LED zusammen mit einem GaInN-Chip wird beispielsweise ein Aufbau ähnlich wie in US 5 998 925 beschrieben verwendet. Der Aufbau einer derartigen Lichtquelle für weißes Licht ist in Figur 1 explizit gezeigt. Die Lichtquelle ist ein Halbleiterbauelement (Chip 1) des Typs InGaN mit einer Peak-Emissionswellenlänge von 460 nm mit einem ersten und zweiten elektrischen Anschluss 2,3, das in ein lichtundurchlässiges Grundgehäuse 8 im Bereich einer Ausnehmung 9 eingebettet ist. Einer der Anschlüsse 3 ist über einen Bonddraht 14 mit dem Chip 1 verbunden. Die Ausnehmung hat eine Wand 17, die als Reflektor für die blaue Primärstrahlung des Chips 1 dient. Die Ausnehmung 9 ist mit einer Vergussmasse 5 gefüllt, die als Hauptbestandteile ein Epoxidgießharz (80 bis 90 Gew.-%) und Leuchtstoffpigmente 6 (weniger als 15 Gew.-%) enthält. Weitere geringe Anteile entfallen u.a. auf Methylether und Aerosil. Die Leuchtstoffpigmente sind eine Mischung aus YAG:Ce- und Sialon-Pigmenten.

50 [0018] In Figur 2 ist ein Ausschnitt aus einer Flächenleuchte 20 als Beleuchtungseinheit gezeigt. Sie besteht aus einem gemeinsamen Träger 21, auf den ein quaderförmiges äußeres Gehäuse 22 aufgeklebt ist. Seine Oberseite ist mit einer gemeinsamen Abdeckung 23 versehen. Das quaderförmige Gehäuse besitzt Aussparungen, in denen einzelne Halbleiter-Bauelemente 24 untergebracht sind. Sie sind UV-emittierende Leuchtdioden mit einer Peakemission von 360 nm. Die Umwandlung in weißes Licht erfolgt mittels Konversionsschichten, die direkt im Gießharz der einzelnen

LED sitzen ähnlich wie in Figur 1 beschrieben oder Schichten 25, die auf allen der UV-Strahlung zugänglichen Flächen angebracht sind. Dazu zählen die innen liegenden Oberflächen der Seitenwände des Gehäuses, der Abdeckung und des Bodenteils. Die Konversionsschichten 25 bestehen aus drei Leuchtstoffen, die im gelben, grünen und blauen Spektralbereich emittieren unter Benutzung der erfindungsgemäßen Leuchtstoffe.

5 [0019] Einige Leuchtstoffe des Sialon-Typs sind in Tab. 1 zusammengefasst. Es handelt sich überwiegend um Ca-Sialone des Typs  $\text{Ca}_{1,5}\text{Si}_9\text{Al}_3\text{N}_{16}$ , wobei ein Anteil des Kations Ca, der zwischen 1 und 10 mol-% liegt, durch Eu ersetzt ist. Typische Quanteneffizienzen dieser Leuchtstoffe liegen bei 70 bis 80 %, wobei sich die Peakemission von 580 nm bei geringer Eu-Dotierung zu etwa 590 nm bei hoher Eu-Dotierung verschiebt.

10 [0020] Gute Ergebnisse lassen sich auch bei Ca-Sialonen des Typs  $\text{CaSi}_{10}\text{Al}_2\text{N}_{16}$  erzielen. Eine hohe Quanteneffizienz über 80 % wird hier auch bei relativ hoher Eu-Dotierung erzielt. Die Peakwellenlänge liegt infolge des geringeren Ca-Anteils überraschend bei kürzeren Wellenlängen. Hiermit kann die Emission gezielt festgelegt werden, evtl. in Kombination mit der Möglichkeit, die Lage der Emission auch durch den Eu-Gehalt zu beeinflussen. Um ausreichend Absorption zu erzielen, kann bei niedrigem Ca-Gehalt auch zwischen 10 und 25 % Eu für Ca, bevorzugt 10 bis 15 %, ausgetauscht werden.

15 [0021] Fig. 3 bis 5 zeigt die Emission und das Reflexionsverhalten verschiedener Sialone als Funktion der Wellenlänge.

[0022] Im einzelnen zeigt Figur 3a das Emissionsspektrum des Sialons  $\text{Ca}_{1,5}\text{Al}_3\text{Si}_9\text{N}_{16}:\text{Eu}^{2+}$  (2%) (Versuchsnummer HU13/01) bei Anregung durch 400 nm. Das Maximum liegt bei 579 nm, die mittlere Wellenlänge bei 590 nm. Die Quanteneffizienz QE ist 79%. Die Reflexion (Figur 3b) beträgt bei 400 nm etwa  $R_{400} = 51\%$  und bei 460 nm etwa  $R_{460} = 64\%$ . Diese Daten sind auch in Tab. 1 aufgelistet, zusammen mit einer Reihe weiterer Leuchtstoffe.

20 [0023] Weiterhin zeigt Figur 3c das Emissionsspektrum dieses Sialons  $\text{Ca}_{1,5}\text{Al}_3\text{Si}_9\text{N}_{16}:\text{Eu}^{2+}$  (2%) (Versuchsnummer HU13/01) bei Anregung durch 460 nm. Das Maximum liegt bei 590 nm, die mittlere Wellenlänge bei 597 nm. Die Quanteneffizienz QE ist 78%. Die Reflexion (Figur 3d) beträgt bei 400 nm etwa  $R_{400} = 51\%$  und bei 460 nm etwa  $R_{460} = 64\%$ .

25 [0024] Die Synthese des Sialons HU13/01 wird im folgenden beispielhaft genauer beschrieben.

[0025] Das Leuchtstoffpulver wird durch eine Hochtemperatur-Festkörperreaktion hergestellt. Dazu werden beispielsweise die hochreinen Ausgangsmaterialien  $\text{Ca}_3\text{N}_2$ , AlN, und  $\text{Si}_3\text{N}_4$  zusammengemischt mit einem Mol-Verhältnis von 1,5:3:9. Die Korngröße des  $\text{Si}_3\text{N}_4$  liegt bei  $d_{50} = 1,6 \mu\text{m}$  mit  $d_{10} = 0,4$  und  $d_{90} = 3,9 \mu\text{m}$ . Eine kleine Menge  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  wird zum Zwecke der Dotierung hinzugefügt und ersetzt dabei die entsprechende Molmenge  $\text{Ca}_3\text{N}_2$ . Dies entspricht bei einem 2 mol-% Anteil des Eu der Bruttoformel  $(\text{Ca}_{1,47}\text{Eu}_{0,03})\text{Al}_3\text{Si}_9\text{N}_{16}$ . Aufgrund der Sauerstoffzugabe zusammen mit dem Eu als Eu-Oxid ist die exakte Bruttoformel als  $(\text{Ca}_{1,47}\text{Eu}_{0,03}\text{Al}_3\text{Si}_9\text{O}_{0,045}\text{N}_{15,97})$  anzusehen. Dabei ist also die allgemeine Bruttoformel  $\text{M}_{p/2}\text{Si}_{12-p-q}\text{Al}_{p+q}\text{O}_{1,5q}\text{N}_{16-q}:\text{Eu}^{2+}$ .

[0026] Nachdem die einzelnen Komponenten gut vermischt worden sind, wird das Pulver bei ca. 1700 °C für 1 - 2 h in einer reduzierenden Atmosphäre ( $\text{N}_2/\text{H}_2$ ) erhitzt und reagiert so zu der oben angegebenen Verbindung.

35 [0027] Figur 4 zeigt das Emissionsspektrum des Sialons  $\text{Ca}_{1,5}\text{Al}_3\text{Si}_9\text{N}_{16}:\text{Eu}^{2+}$  (4%) (Versuchsnummer HU14/01) bei Anregung durch 400 nm. Das Maximum liegt bei 588 nm, die mittlere Wellenlänge bei 595 nm. Die Quanteneffizienz QE ist 76%. Die Reflexion (Figur 4b) beträgt bei 400 nm etwa  $R_{400} = 40\%$  und bei 460 nm etwa  $R_{460} = 54\%$ .

[0028] Figur 5 zeigt das Emissionsspektrum des Sialons  $\text{CaSr}_{0,5}\text{Al}_3\text{Si}_9\text{N}_{16}:\text{Eu}^{2+}$  (4%) (Versuchsnummer HU15/01) bei Anregung durch 400 nm. Das Maximum liegt bei 588 nm, die mittlere Wellenlänge bei 594 nm. Die Quanteneffizienz QE ist 70%. Die Reflexion (Figur 4b) beträgt bei 400 nm etwa  $R_{400} = 36\%$  und bei 460 nm etwa  $R_{460} = 50\%$ .

40 [0029] In Figur 6 ist die Quanteneffizienz als Funktion der Temperatur für verschiedene Leuchtstoffe dargestellt. Es zeigt sich, dass reiner YAG:Ce (Kurve 1) zwar eine merklich höhere Quanteneffizienz bei Raumtemperatur aufweist als ein typisches Sialon (Kurve 2: hier HU16/01 aus Tab. 1), nämlich 81 % gegenüber 75 %. Erstaunlicherweise gleicht sich aber die Quanteneffizienz im Betrieb der LED unter typischen Temperaturbelastungen von 80°C vollständig an. Während die Eu-dotierten Sialon-Leuchtstoffe also auf den ersten Blick nur durchschnittliche Ergebnisse (bei Raumtemperatur) zu liefern scheinen, ist ihre Eignung für Lukoleds und andere temperaturbelastete Beleuchtungseinheiten mit dem als Standard verwendeten YAG:Ce direkt vergleichbar. Normalerweise wird in solchen Beleuchtungseinheiten immer auch ein durch Gd modifizierter Granat mitverwendet um die Farbwiedergabe zu verbessern. Im Gegensatz zu reinem YAG:Ce führt aber eine Modifizierung des YAG:Ce (50 mol-% Gd statt Y) bereits zu deutlich schlechteren

50 Ergebnissen unter Temperaturbelastung.

Tab. 1

Verbindung	Kurzbezeichnung	QE	R370	R400	R460	Max. Em	x	y
Ca <sub>1.5</sub> Al <sub>3</sub> Si <sub>9</sub> N <sub>16</sub> :Eu <sup>2+</sup> (2%)	HU13/01	79		51	64	580	0,498	0,490
Ca <sub>1.5</sub> Al <sub>3</sub> Si <sub>9</sub> N <sub>16</sub> :Eu <sup>2+</sup> (4%)	HU14/01	76		40	54	588	0,515	0,477
Ca <sub>1.5</sub> Al <sub>3</sub> Si <sub>9</sub> N <sub>16</sub> :Eu <sup>2+</sup> (4%)	HU16/01	75		41	57	583	0,510	0,481

Tab. 1 (fortgesetzt)

Verbindung	Kurzbezeichnung	QE	R370	R400	R460	Max. Em	x	y
Ca <sub>1.5</sub> Al <sub>3</sub> Si <sub>9</sub> N <sub>16</sub> :Eu <sup>2+</sup> (6%)	HU33/01	76		39	54	587	0,518	0,474
Ca <sub>1.5</sub> Al <sub>3</sub> Si <sub>9</sub> N <sub>16</sub> :Eu <sup>2+</sup> (8%)	HU34/01	70		36	48	588	0,525	0,468
CaAl <sub>2</sub> Si <sub>10</sub> N <sub>16</sub> :Eu <sup>2+</sup> (6%)	HU54/01	81	56	57	71	576	0,479	0,504
CaSr <sub>0.5</sub> Al <sub>3</sub> Si <sub>9</sub> N <sub>16</sub> :Eu <sup>2+</sup> (4%)	HU15/01	70		36	50	588	0,508	0,479
Ca <sub>1.5</sub> Al <sub>3.5</sub> Si <sub>8.5</sub> O <sub>0.5</sub> N <sub>15.5</sub> :Eu <sup>2+</sup> (4%)	HU56/01	64	55	55	67	582	0,488	0,496
Ca <sub>1.5</sub> Al <sub>2.7</sub> Ga <sub>0.3</sub> Si <sub>9</sub> N <sub>16</sub> :Eu <sup>2+</sup> (8%)	TF39/01	43	16	18	30	594	0,530	0,463
Sr <sub>1.5</sub> Al <sub>3</sub> Si <sub>9</sub> N <sub>16</sub> :Eu <sup>2+</sup> (4%)	HU19/01	41	44	49	62	512	0,307	0,509

Tab. 2

Leuchtstoff	Lichtausbeute relativ zu YAG:Ce	Ra	Farbkoord. x	Farbkoord. Y
YAG:Ce	100%	79	0,304	0,326
YAG:Ce und (Y,Gd)AG:Ce	95%	83	0,320	0,310
YAG:Ce und Sialon HU34/01	106%	81	0,319	0,311
TbAG:Ce und Sialon HU34/01	100%	83	0,336	0,305
Chlorosilikat und Sialon HU34/01	104%	82	0,325	0,309

[0030] Dies zeigt die besondere Eignung der Eu-dotierten Sialone für den Einsatz in Lumineszenzkonversions-LEDs und dabei insbesondere in Leuchtstoff-Mischungen zusammen mit YAG:Ce oder anderen temperaturstabilen Leuchtstoffen.

[0031] Fig. 7 zeigt das Emissionsspektrum einer Lumineszenzkonversions-LED (Lukoled) basierend auf einer blauen InGa<sub>N</sub>-LED mit Primäremission bei 460 nm unter Verwendung einer Mischung von YAG:Ce und einem Eu-dotierten Sialon HU34/01 aus Tab. 1. Dabei ist die Farbwiedergabe zwar etwas schlechter als bei einer entsprechenden Mischung YAG:Ce und (Y,Gd)AG:Ce, jedoch ist die Effizienz um 6 % höher. Im Vergleich dazu ist bei ausschließlicher Verwendung von YAG:Ce als Leuchtstoff sowohl die Lichtausbeute als auch die Farbwiedergabe deutlich schlechter, siehe hierzu Tab. 2.

[0032] Weiterhin ist in Tab. 2 aufgeführt, dass auch andere Leuchtstoffe mit Sialon gemischt eine hohe Effizienz zeigen. Dies gilt insbesondere für eine Mischung mit Ce-dotiertem TbAG oder mit Eu-dotiertem Chlorosilikat (siehe beispielsweise DE-GM 201 08 013.3, wo beide Leuchtstoffe mit weiteren Querverweisen näher beschrieben sind). Je nach relativem Anteil lassen sich dabei bekanntlich verschiedene Farborte auf der Verbindungslinie zwischen den Farbörtern der reinen Leuchtstoffe erzielen.

[0033] Fig. 8 zeigt die Farbörter einer Mischung zwischen einer blauen LED (460 nm) und einem GO-Leuchtstoff allein bei Mischungsanteilen von 0,5 bis 9 % des GO-Leuchtstoffs. Damit lässt sich eine farbige LED gewünschter Farbe realisieren. Es lassen sich Farborte auf der Verbindungslinie (abgesehen von Sekundäreffekten wie einem geringen Einfluss des Gießharzes) erreichen, die im Blauen, Pinkfarbenen bis hin zum Gelborangen liegen.

## Patentansprüche

1. Beleuchtungseinheit mit mindestens einer LED als Lichtquelle, wobei die LED primäre Strahlung im Bereich 300 bis 485 nm emittiert, wobei diese Strahlung teilweise oder vollständig in längerwellige Strahlung konvertiert wird durch Leuchtstoffe, die der primären Strahlung der LED ausgesetzt sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Konversion zumindest unter Zuhilfenahme eines Leuchtstoffs, der gelb-orange mit einer Wellenlänge der Peakemission bei 540 bis 620 nm emittiert und der aus der Klasse der Eu-aktivierten Sialone stammt, wobei das Sialon der Formel  $M_{p/2}Si_{12-p-q}Al_{p+q}O_qN_{16-q}:Eu^{2+}$  gehorcht, mit M= Ca einzeln oder in Kombination mit mindestens einem der Metalle Sr oder Mg, mit q = 0 bis 2,5 und p = 0,5 bis 3.

2. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Al teilweise (bis zu 20 mol-%) durch Ga ersetzt ist.
3. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass**  $q < 1$  und/oder  $p = 2$  bis 3 gewählt ist.
4. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der mittlere Korndurchmesser des Leuchtstoffpulvers zwischen 0,5 und 5  $\mu\text{m}$  gewählt ist.
5. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Erzeugung von weißem Licht die primär emittierte Strahlung im Wellenlängenbereich 330 bis 370 nm liegt, wobei die primär emittierte Strahlung zumindest zwei Leuchtstoffen mit Emissionsmaximum im Blauen (430 bis 470 nm) und Gelb-Orangen (insbesondere 545 bis 590 nm) zur Konversion ausgesetzt ist.
6. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die primäre Strahlung zumindest noch einem weiteren Leuchtstoff, der entweder im Grünen (490 bis 525 nm) oder im Roten (625 bis 700 nm) emittiert, zur Konversion ausgesetzt ist.
7. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der weitere Leuchtstoff ein Chlorosilikat oder ein Y- oder Tb-basierter Granat ist.
8. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Erzeugung von weißem Licht die primär emittierte Strahlung im blauen Wellenlängenbereich von 430 bis 470 nm liegt, wobei die primär emittierte blaue Strahlung zwei Leuchtstoffen mit Emissionsmaximum im Gelb-Orangen (545 nm bis 590 nm) und im Grünen (490 bis 525 nm) entsprechend einem der vorherigen Ansprüche ausgesetzt wird.
9. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Erzeugung von farbigem Licht die primär emittierte Strahlung im blauen Wellenlängenbereich von 430 bis 485 nm liegt, wobei die primär emittierte blaue Strahlung einem einzigen Leuchtstoff mit Emissionsmaximum im Gelb-Orangen (545 nm bis 590 nm) entsprechend einem der vorherigen Ansprüche ausgesetzt wird.
10. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Mischungsanteil des Gelb-Orange-Leuchtstoffs etwa 0,5 bis 15 % beträgt.
11. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** als primäre Strahlungsquelle eine kurzwellig emittierende Leuchtdiode, insbesondere auf Basis von Ga(In)N, verwendet wird.
12. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anteil des Sr u/o Mg höchstens 40 mol-% des Kations M ausmacht.
13. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beleuchtungseinheit eine Lumineszenzkonversions-LED ist, bei der die Leuchtstoffe direkt oder mittelbar in Kontakt mit dem Chip stehen.
14. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beleuchtungseinheit ein Feld (Array) von LEDs ist.
15. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest einer der Leuchtstoffe auf einer vor dem LED-Feld angebrachten optischen Vorrichtung angebracht ist.

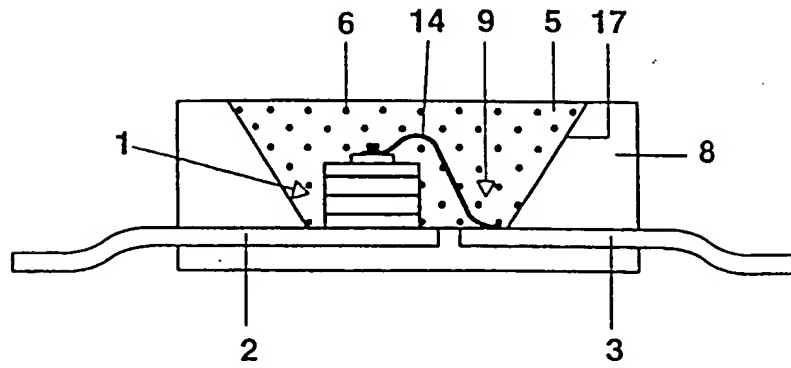


FIG. 1

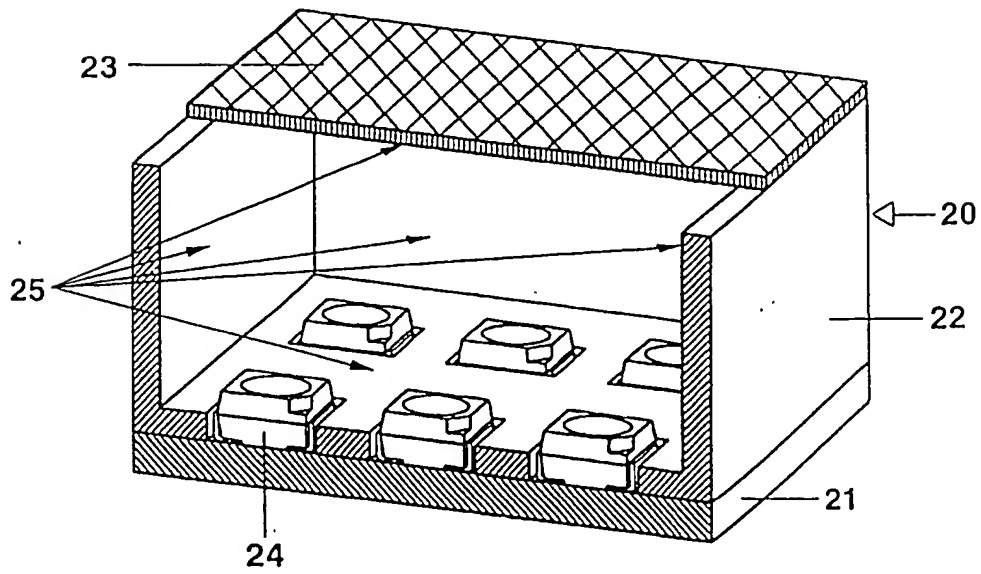


FIG. 2



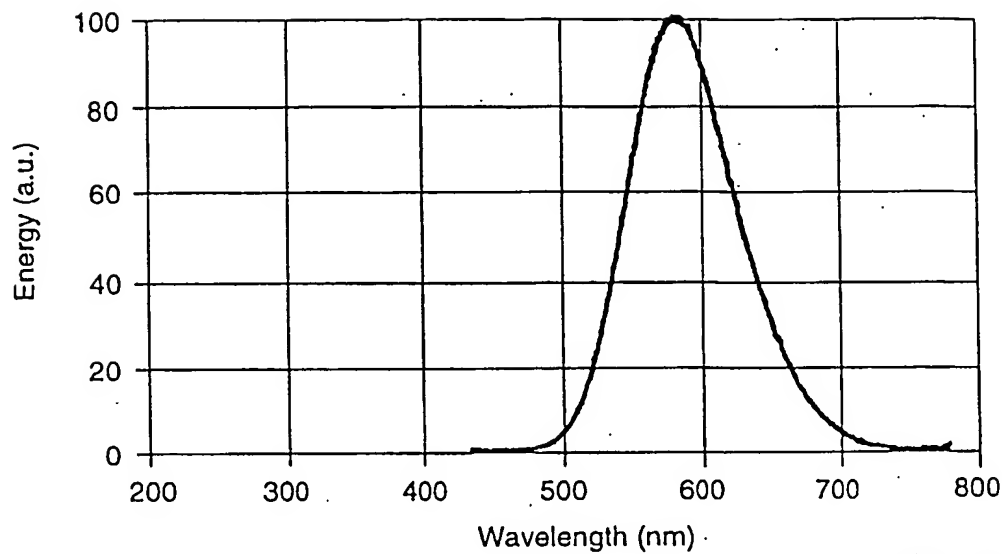


FIG. 3a

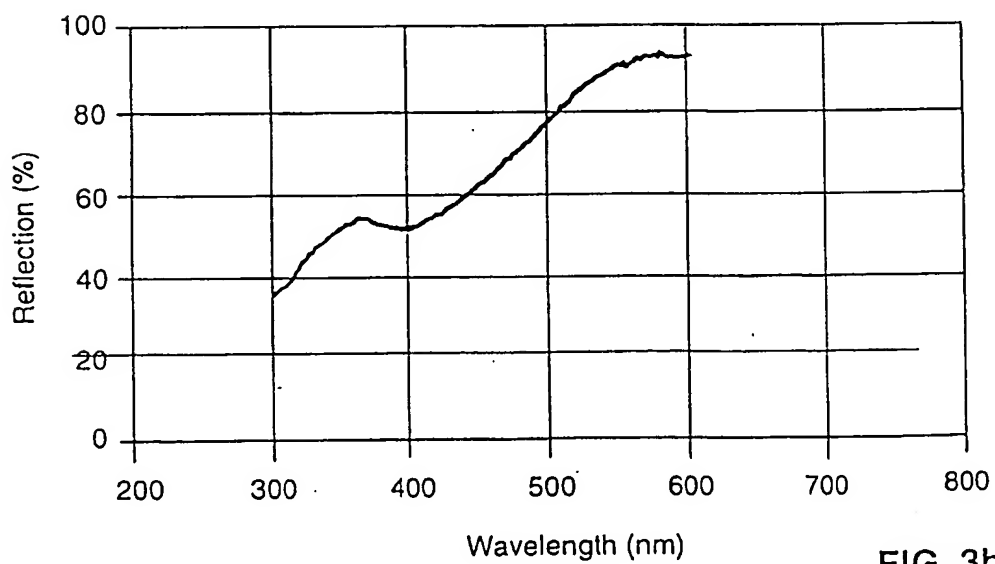


FIG. 3b

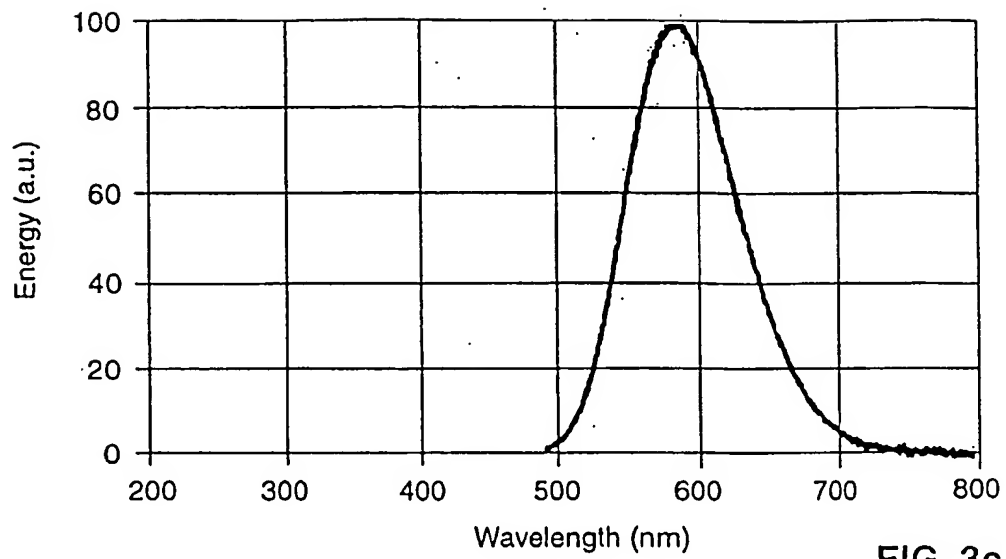


FIG. 3c

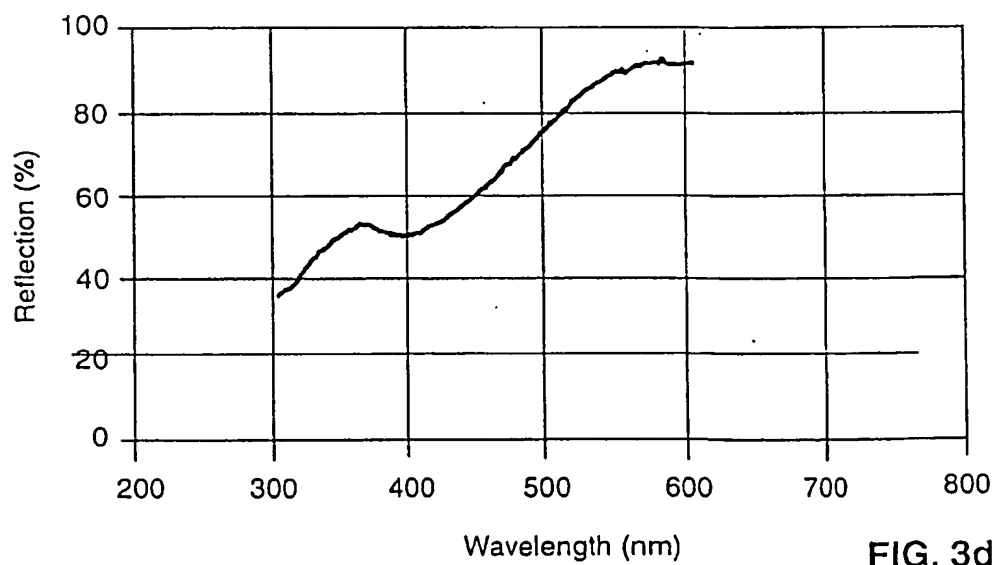


FIG. 3d

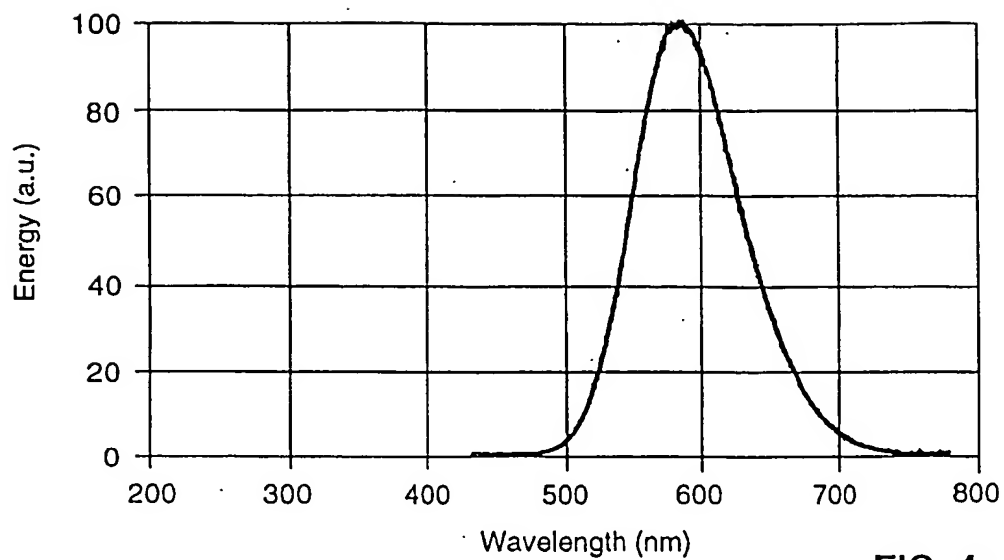


FIG. 4a

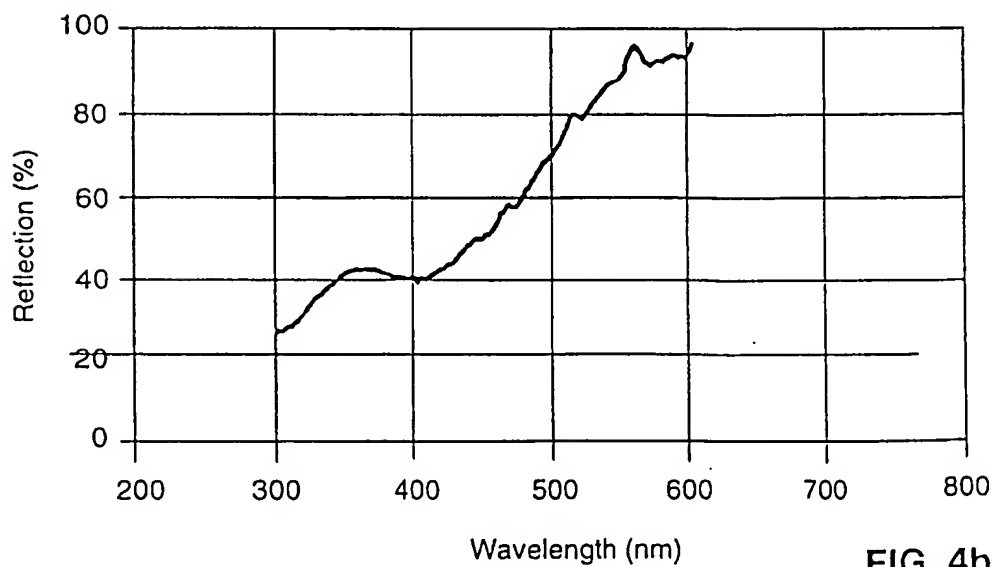


FIG. 4b

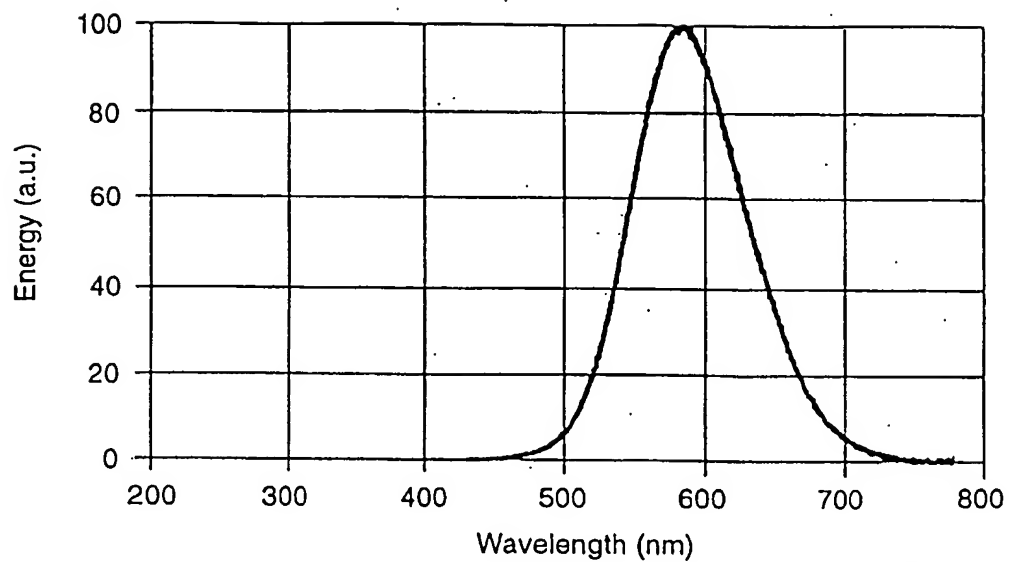


FIG. 5a

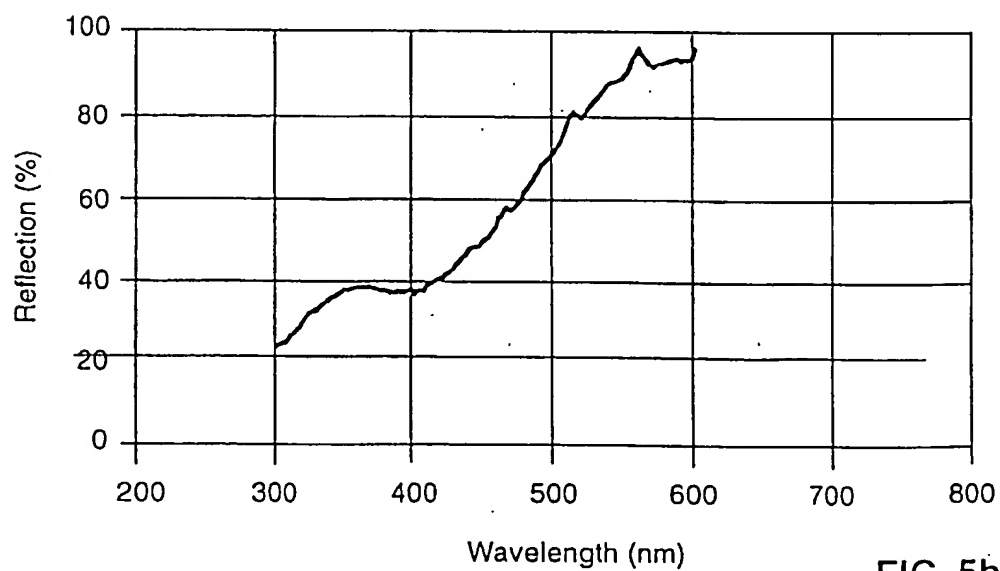


FIG. 5b

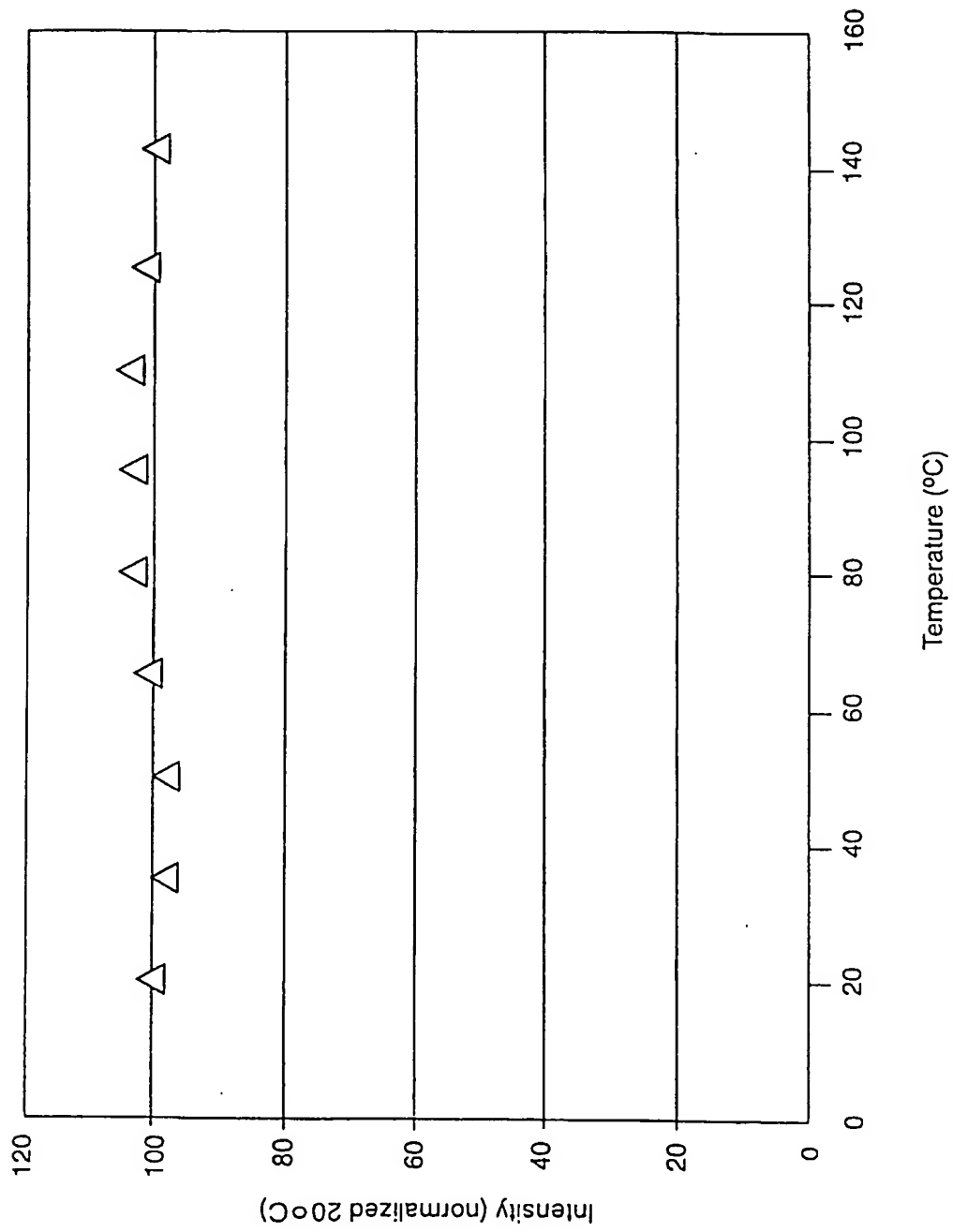
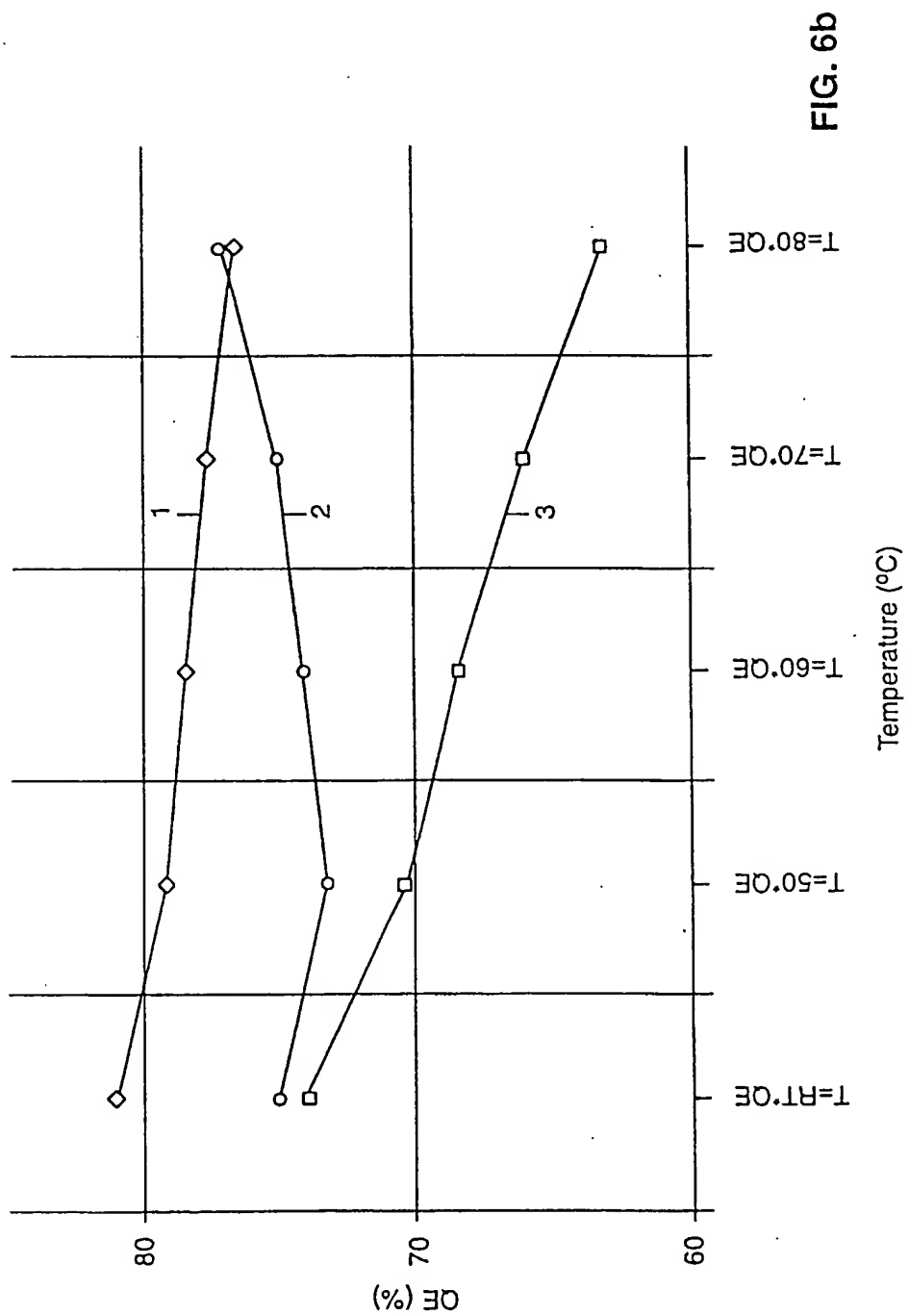


FIG. 6a



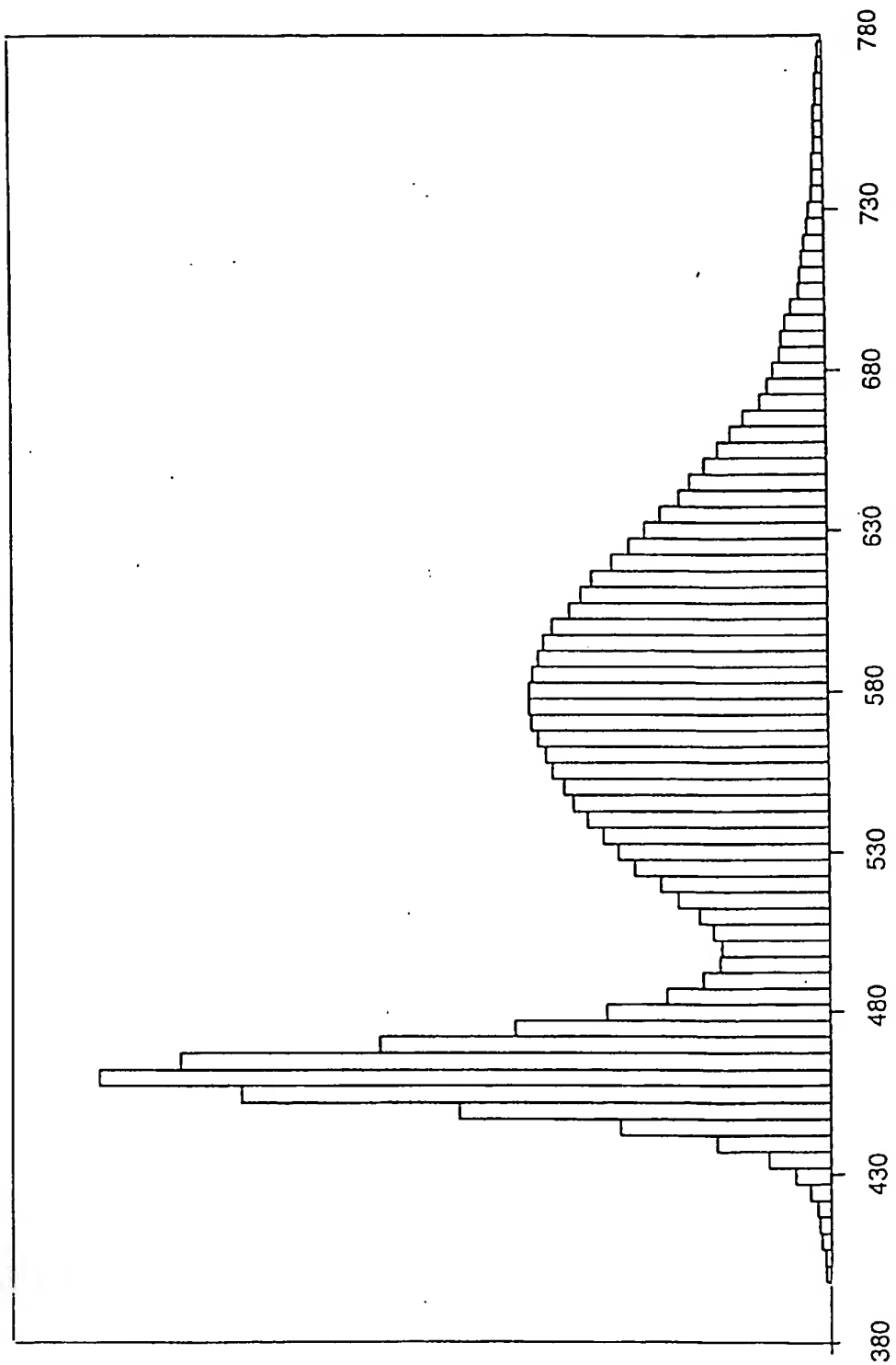


FIG. 7

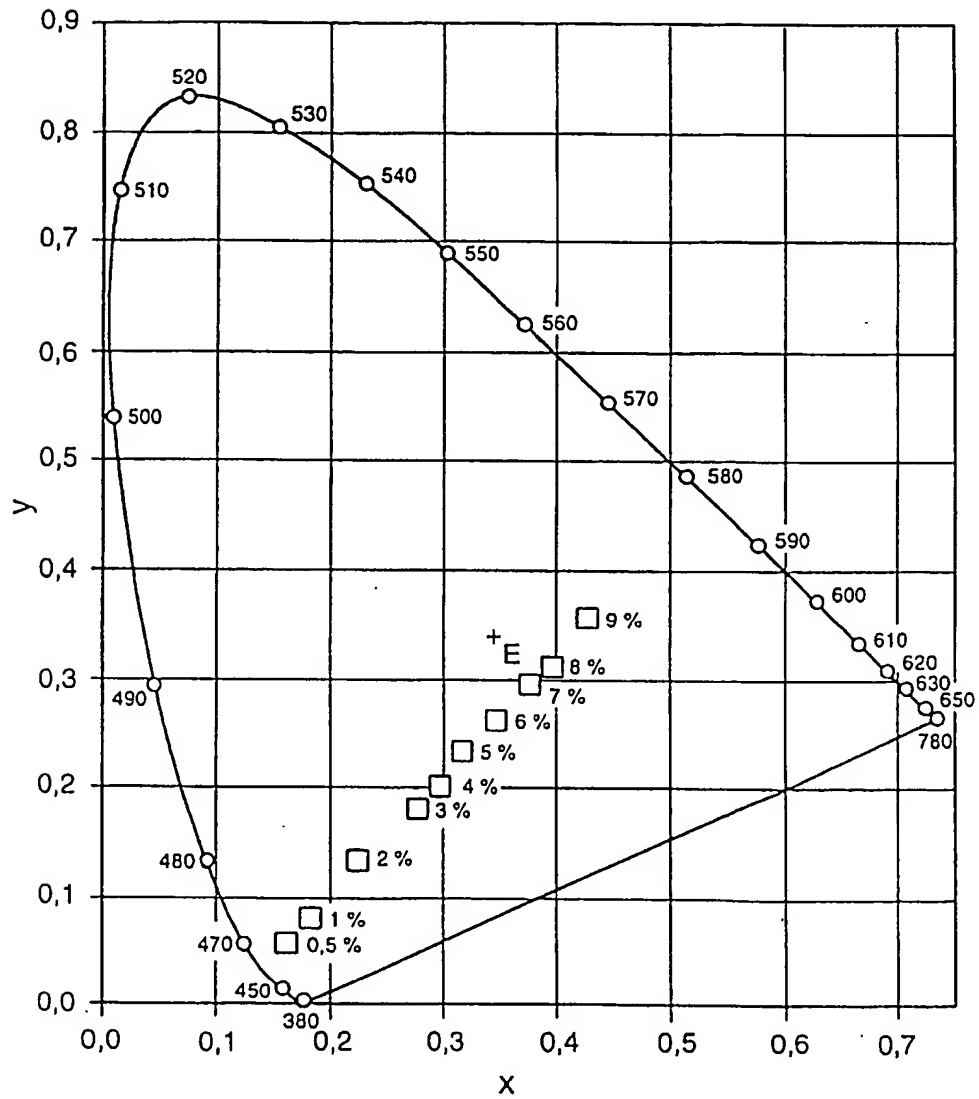


FIG. 8



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**